

Geothermische Kraftwerke aus Sicht eines Planers für konventionelle Kraftwerke

Norbert Hartlieb

enpros Consulting GmbH, Nürnberg

Keywords: Forschung und Professionelle Kraftwerksplanung, Umfang Geothermisches Kraftwerk, Randbedingungen zur Kraftwerksauslegung, Komponentenauslegung, wirtschaftliche Optimierung, Genehmigungen, Beschaffung, Finanzierung.

Zusammenfassung

Ziel der Nutzung von geothermischer Energie in Deutschland ist die wirtschaftliche Erzeugung von Strom und Heizwärme. Der Vortrag zeigt die grundsätzliche Herangehensweise eines Planers für konventionelle Kraftwerke an die Planung eines geothermischen Kraftwerks. Im Umfang des Geothermiekraftwerkes wird nicht nur die reine Stromerzeugungseinheit, sondern auch das komplette Thermalwassersystem einschließlich Thermalwasserpumpe und Injektionseinrichtung, sowie die übergeordnete E- und Leittechnik, die Bautechnik und auch die Infrastruktur des gesamten Geländes gesehen. Bei der Planung des Geothermiekraftwerkes gilt es zunächst, die ausschlaggebenden Randbedingungen für das Gesamtkraftwerk zu definieren und davon abhängig die einzelnen Komponenten des Kraftwerks auszulegen und zu optimieren. Nach abgeschlossener Vorplanung sind die nach Bundesberggesetz, nach Wasserhaushaltsgesetz, nach Landesbauordnung und nach Betriebssicherheitsverordnung geforderten Genehmigungsanträge zu erstellen. Für die Beschaffungsphase gibt es prinzipiell die Möglichkeit der Beschaffung aller Komponenten in marktüblichen Losen, wie z.B. Turbosatz, Wärmeaustauscher, Pumpen, oder, falls die passende Leistungsklasse vorhanden ist, die Möglichkeit der Beschaffung einer fertigen Energieumwandlungseinheit mit den Restlosen. Ausschlaggebend ist hier eine wirtschaftliche Optimierung. Für beide Fälle ist die Planung, die Schnittstellenklärung und die Bauüberwachung durch einen erfahrenen Planer durchzuführen. Ein Generalunternehmer, welcher das komplette Kraftwerk im oben gezeigten Umfang liefert, ist bisher noch nicht auf dem Markt. Zum Schluss werden Aspekte der Finanzierbarkeit betrachtet.

1. Einleitung

Die bisher in Deutschland errichteten geothermischen Heizwerke und Kraftwerke sind dadurch gekennzeichnet, dass bei allen Anlagen ein hoher Anteil der Investitionskosten für die Erprobung von Werkstoffen, Dichtungen, Apparaten, Maschinen und Energieumwandlungsverfahren aufgebracht werden musste. Mitunter hatten diese Geothermieanlagen dadurch den Charakter von Forschungsprojekten. Dies kann als ein natürlicher Prozess bezeichnet werden, denn die Energiegewinnung aus Erdwärme ist in Deutschland eine junge Industrie. Aus diesem Grunde gab es auch noch keine erfahrenen Gesamtplaner, Gutachter, Genehmigungsbeamte, Lieferanten und nicht zuletzt Betreiber. Hierdurch wurden Reibungsverluste und damit zusätzliche Kosten verursacht. Die zusätzlichen Investitionskosten brachten diese Anlagen dem Rand der Wirtschaftlichkeit immer näher. Die zukünftige Nutzung der geothermischen Energie zur Strom- und Heizwärmeerzeugung ist jedoch nur möglich, wenn es gelingt, Anlagen zu erstellen, deren Wirtschaftlichkeit eindeutig gegeben ist. Ein Schritt in diese Richtung ist die Nutzung von bewährten Planungs-, Genehmigungs-, Beschaffungs- und Qualitätssicherungsstrukturen aus der konventionellen Kraftwerkstechnik.

2. Vergleich konventionelles Kraftwerk – geothermisches Kraftwerk

Während in einem konventionellen Kraftwerk die elektrische Leistung unter Berücksichtigung der Randbedingungen Strombedarf, Maximales Investitionsvolumen, Brennstofftransport, und Kühlungspotential relativ „frei“ bestimmt werden kann, bestimmen in einem Geothermiekraftwerk alleine der maximal zu fördernde Thermalwasserstrom und die Thermalwassertemperatur die elektrische Leistung. Weiterhin bedingt die besondere Beschaffenheit des Thermalwassers eine besondere Aufmerksamkeit bei der Werkstoffwahl. Damit sind die wesentlichen, planungsbestimmenden Unterschiede schon soweit genannt, um festzustellen, dass es keine Begründung gibt, ein Geothermiekraftwerk in anderen Strukturen zu planen, zu beschaffen und zu errichten, wie ein konventionelles Kraftwerk. Durch die Nutzung von bewährten Strukturen des Projektmanagements und bewährten Planungswerkzeugen und Formen von Planungsunterlagen ist eine professionelle Abarbeitung der Aufgaben für die Errichtung eines Geothermiekraftwerkes gegeben und damit ein termin- und kostengerechter Abschluss gewährleistet.

3. Definitionsbereich Geothermiekraftwerk

Die Planung eines konventionellen Kraftwerks wird nicht getrennt durchgeführt für einzelne Gebäude-, Funktions- oder Fakultätsbereiche, sondern gemeinsam für alle vom Kraftwerkszaun eingeschlossenen Gebäude und Anlagenteile. Hierbei arbeiten die Fakultäten, wie Verfahrenstechnik, Anordnungsplanung, Bautechnik und E- und Leittechnik immer am gemeinsamen Projekt. Dies ist notwendig, da ein Kraftwerk ein vorwiegend funktionsbestimmtes Objekt ist, in dem alle Einzelkomponenten voneinander abhängig sind und in ihrem Zusammenspiel nur den einzigen Zweck der Strom- oder Heizwärmeerzeugung haben.

Das gleiche gilt für ein Geothermiekraftwerk. Zum Betrachtungsbereich der Gesamtplanung und der Beschaffung gehören deshalb die Thermalwasserpumpe, das Thermalwassersystem, die Energieumwandlungsanlagen, Elektro- und Leittechnik, Gebäude, Infrastruktur mit Straßen, unterirdischen Kabeln und Rohrleitungen, Grünanlagen, Kraftwerkszaun. Das Bohrgeschäft für Förder- und Injektionsbohrung einschließlich Bohrköpfen wird unabhängig von der Kraftwerksplanung und -Beschaffung durchgeführt, wobei bereits bei der Wahl der Bohrpunkte der spätere Kraftwerksstandort hinsichtlich der Entfernung zu potenziellen Heizwärmeabnehmern mit berücksichtigt werden muss.

4. Auslegungsrandbedingungen

Bestimmend für die Auslegung eines Geothermiekraftwerkes sind folgende standortgegebene Randbedingungen:

- Maximal zu fördernde Thermalwassermenge,
- Thermalwassertemperatur,
- Thermalwasseranalyse,
- Thermalwasserdichte, -konsistenz,
- Wasserspiegel Förderbohrung,
- Aufnahmevermögen Schluckbohrung,
- Jahresgang der Kühlmediumtemperatur.

5. Auslegung und Vorplanung

Die maximal zu fördernde Thermalwassermenge bestimmt zusammen mit der Thermalwassertemperatur das zur Verfügung stehende Wärmepotential. Das zur Verfügung stehende Wärmepotential dient als Eingangsgröße für das Wärmeschaltbild des

Energieumwandlungskreislaufs und ist somit bestimmend für die elektrische Leistung, bzw. die Heizwärmeleistung. Auf Grundlage der Thermalwasseranalyse inklusive Gasgehalt wird der im Thermalwassersystem mindestens zu haltende Betriebsdruck ermittelt, welcher notwendig ist, Ausgasungen und damit verbundene Ausfällungen zu verhindern. Der Betriebsdruck, die Thermalwassermenge, der Wasserspiegel in der Förderbohrung und das Schluckvermögen der Injektionsbohrung sind ausschlaggebend für die Auslegung der Thermalwasserpumpe.

Der Leistungsbereich der Turbine und folgend aller Komponenten im Energieumwandlungskreislauf muss sorgfältig an die über das Jahr veränderliche Kühlmediumtemperatur angepasst werden. Dies gilt unabhängig davon, ob Umgebungsluft oder ein fließendes Gewässer zur Rückkühlung dienen. Für beide gilt, dass deren Temperatur sich über das Jahr erheblich ändert. Die Lufttemperatur ändert sich bekanntlich auch von Tag zu Nacht. Optimal ausgelegt ist ein Kraftwerk, wenn über das Jahr die größtmögliche Arbeit erzeugt wird, denn die abgegebenen Kilowattstunden erzeugen die Einnahmen. Die ausschließlich auf eine mittlere Jahrestemperatur des Kühlmediums ausgerichtete Auslegung eines Kraftwerks genügt nicht dem Anspruch einer hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit optimierten Auslegung.

Zur Vorplanung gehören eine Anordnungsplanung aller wesentlichen Komponenten und Rohrleitungen innerhalb von Gebäuden und eine Lageplanung der Gesamtanlage. Das Ergebnis sind Grundrisse, Schnitte und Lagepläne.

6. Genehmigung

Nach Erstellung der Auslegung und nach Vorplanung der Gebäude und der Anordnung werden die erforderlichen Genehmigungsanträge gefertigt.

Es empfiehlt sich vorab eine Abstimmung der Art und des Umfangs der Antragsunterlagen mit den beteiligten Behörden in einer offenen Weise. Bedauerlicherweise gibt es für Geothermiekraftwerke keine konzentrierende Behörde, welche für den Antragsteller als alleiniger Ansprechpartner dient und alle beteiligten Fachbehörden, wie Bergamt, Landratsamt und Bauamt einbezieht. Dies ist bei großen konventionellen Kraftwerken über das Bundes-Immissions-Schutz-Gesetz (BImSchG) gegeben und wird dort erfolgreich praktiziert.

Es sind folgende Genehmigungsanträge zu stellen:

- Hauptbetriebsplan nach dem Bundesberggesetz,
- Aufsuchungserlaubnis zur Gewinnung des Bodenschatzes,
- Wasserrechtsantrag nach dem Wasserhaushaltsgesetz,
- Bauantrag nach der Landesbauordnung,
- Antrag auf Bewilligung nach Betriebssicherheitsverordnung.

Als Bestandteil der Genehmigungsanträge sind diverse Gutachten wie Schallgutachten, Bodengutachten, Sicherheitsgutachten zu beauftragen.

Wie bei einem konventionellen Kraftwerk ist es notwendig, alle Genehmigungsanträge aus einer Hand zu führen, damit alle enthaltenen Daten und Angaben abgestimmt sind und damit ein einheitliches Erscheinungsbild entsteht.

7. Beschaffung

Die Beschaffung des Geothermiekraftwerkes erfolgt in marktüblichen Losen auf Grundlage von Ausschreibungen und Spezifikationen, welche nach den Grundsätzen der Kraftwerksplanung einheitlich aufgebaut sind. Alle Ausschreibungen enthalten im Wesentlichen den Liefer- und Leistungsumfang, die Auslegungsdaten, Angaben zu Liefergrenzen, zugesicherte Eigenschaften,

Liefer- und Leistungstermine, Vertragsstrafen, kaufmännische Vertragsbedingungen. Zur Minimierung des Lieferanten-Ausfallrisikos und zur Minimierung der Schnittstellenabstimmungen ist eine möglichst geringe Zahl von hochrangigen Auftragnehmern anzustreben.

Grundsätzlich werden folgende Losaufteilungen vorgeschlagen:

- Thermalwasserpumpe mit Steigleitung,
- Turbosatz,
- Pumpen Kraftwerk,
- Rückkühler,
- Wärmeaustauscher,
- Behälter,
- Rohrleitungen, Armaturen,
- E- und Leittechnik,
- Bauteil und Infrastruktur.

Die Umfänge der Lose beziehen sich immer auf das gesamte Kraftwerk. Hierdurch sind einheitliche Abwicklungs- und Ausführungsstandards zumindest innerhalb des Loses gewährleistet. Besonders wichtig ist eine übergeordnete Elektro- und Leittechnik. Die übergeordnete Leittechnik muss sowohl alle Systeme des Thermalwassersystems als auch der Energieumwandlungssysteme überwachen, steuern und regeln, da eine direkte Abhängigkeit dieser Systeme untereinander besteht.

Für die Energieumwandlungsanlage bzw. die Stromerzeugungsanlage gibt es auf dem Markt bewährte Einheiten in abgestuften Leistungsklassen. Diese Einheiten umfassen alle Komponenten innerhalb des Kraftwerkskreislaufprozesses, wie z.B. Turbosatz, Wärmeaustauscher, Pumpen, Behälter, Rohrleitungen und Armaturen, zugehörige E- und Leittechnik. Diese Einheiten werden üblicherweise fertig montiert in Containern angeliefert. Solche fertigen Einheiten stellen preislich sicherlich eine günstige Alternative zur Einzelvergabe gem. der Losaufteilung dar. Für die Bewertung müssen allerdings neben dem Preis alle weiteren technisch, wirtschaftlichen Kriterien, wie Betriebsverhalten im Jahresverlauf, Zusatzaufwendungen für die Einbindung in die E- und Leittechnik, Zusatzaufwendungen für weitere Einhausungen von nicht enthaltenen Komponenten, z.B. des Thermalwasserkreislaufs oder von Schaltanlagen berücksichtigt werden. Sollte es gelingen eine optimal passende Einheit zu finden, welche auch gesamtwirtschaftlich eine interessante Lösung darstellt, ist die o.g. Losaufteilung entsprechend den Umfängen der Einheit anzupassen. Die Losaufteilung sieht dann wie folgt aus:

- Thermalwasserpumpe mit Steigleitung,
- Kraftwerkseinheit einschließlich Rückkühler,
- Restliche Behälter,
- Restliche Rohrleitungen, Armaturen
- Restliche und übergeordnete E- und Leittechnik,
- Restliche Gebäude und Infrastruktur.

Entsprechend der Anzahl der Lose sind vom Kraftwerksbetreiber die Aufträge zu vergeben. Die Loslieferanten haften ausschließlich für Ihren Lieferumfang. Risiken, welche die Menge, die Zusammensetzung und die Temperatur des Thermalwassers betreffen, sowie Risiken aus zum Zeitpunkt der Bestellung nicht optimal definierbaren Auslegungsdaten für einzelne Lose verbleiben beim Kraftwerksbetreiber selbst. Dies gilt ebenfalls für die Vergabe mit einer Kraftwerkseinheit. Zur Minimierung dieses Risikos ist es notwendig, einen erfahrenen Gesamtplaner frühzeitig zu beauftragen. Eine weitere Minimierung des Risikos könnte durch die Vergabe des Gesamtkraftwerks mit allen genannten Losen an einen Generalunternehmer, mit Gewährleistung von Leistung und Verfügbarkeit, erfolgen. Derzeit existiert nach unserer Kenntnis ein solcher Generalunternehmer jedoch noch nicht auf dem Markt.

8. Ausführungsplanung und Errichtung

In der Vergabephase der Lose beginnt mit den ersten Angaben aus den Angeboten die Ausführungsplanung, wodurch die Vorplanung verdichtet wird. Nach Vergabe der Lose beginnt die Schnittstellenabstimmung und die Sammlung und Verteilung von Planungsdaten. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme von bewährten Planungswerkzeugen und Planungsdokumenten, wie Komponentenzeichnungen, aus denen Anordnungspläne entstehen, wie E-Verbraucherlisten und Messstellenlisten, aus denen das detaillierte Mengengerüst und die Anforderungen für die Elektro- und Leittechnik entstehen, wie verfahrenstechnischen Funktionsbeschreibungen, aus denen die Aufgabenstellung für die Steuerung und Regelung entstehen. Zur optimalen Abstimmung aller Lieferumfänge der Lose untereinander ist die Koordination und die Schnittstellenabstimmung eines erfahrenen Kraftwerksplaners als Gesamtplaner notwendig. Hierzu gehört auch die Planung der so genannten Infrastruktur, wie Straßen, Entwässerungen, unterirdische Rohrleitungen und Kabel, Grünanlagen und nicht zuletzt Kraftwerkszaun und Beschilderung. Der Gesamtplaner sorgt ebenfalls für die Qualitätssicherung der Planungsunterlagen der Lieferanten und stellt das Bindeglied zwischen den Lieferanten, den Gutachtern und den Genehmigungsbehörden dar.

Während der Errichtungsphase ist, wie bei den konventionellen Kraftwerken ebenfalls üblich, eine Qualitätsprüfung bereits in den Werkstätten der Lieferanten und ebenfalls auf der Baustelle notwendig. Üblicherweise werden hierzu bekannte Institutionen, wie z.B. der TÜV eingesetzt.

Sowohl die Planungs- als auch die Errichtungsphase ist für alle Lose und alle sonstigen Aufgaben in einem Terminplan darzustellen. Alle Planungs-, Liefer- und Errichtungstermine sind konsequent zu kontrollieren. Verzüge und die Ursachen dafür sind zu protokollieren, damit in späteren Nachtragsverhandlungen alle Vorgänge nachvollzogen werden können.

9. Finanzierung

Die Bereitschaft der Banken zu einer Finanzierung des Kraftwerks hängt von der Bewertung der bestehenden Risiken ab.

Folgende Risiken bestehen:

- Absinken der Thermalwassermenge und Thermalwassertemperatur,
- Ausfall eines Lieferanten wegen Insolvenz,
- Nicht Erreichen der Auslegungsleistung,
- Nicht Erreichen der Verfügbarkeit.

Das Absinken der Thermalwassermenge und der Thermalwassertemperatur ist natürlich bedingt und kann nicht durch Maßnahmen des Kraftwerksbetreibers verringert werden. Alle anderen Risiken können durch Auswahl eines erfahrenen Planers und kompetenter Auftragnehmer mit einem hohen Rating bei den Banken minimiert werden.

enpros consulting GmbH, Norbert Hartlieb, Schweinauer Hauptstraße 80, D 90441 Nürnberg
info.geothermie@enpros.de